Département de Génie Électrique et informatique

# GEI-1040 : Instrumentation & mesure

## CHAPITRE 1
## PRINCIPES GÉNÉRAUX DES MESURES ÉLECTRIQUES

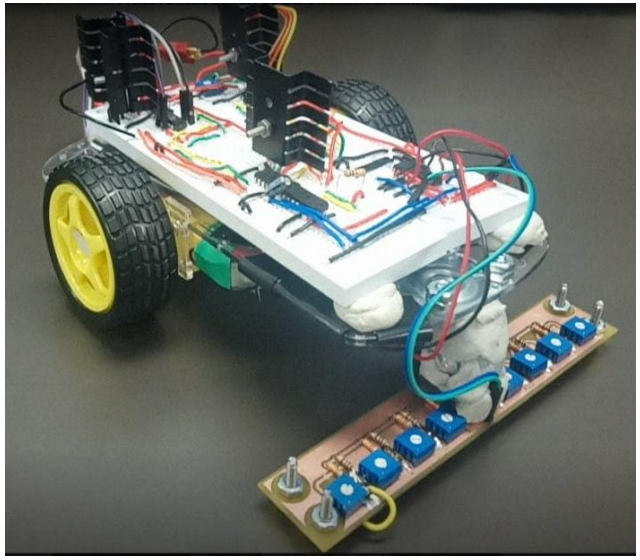
Par François Nougarou, Professeur.

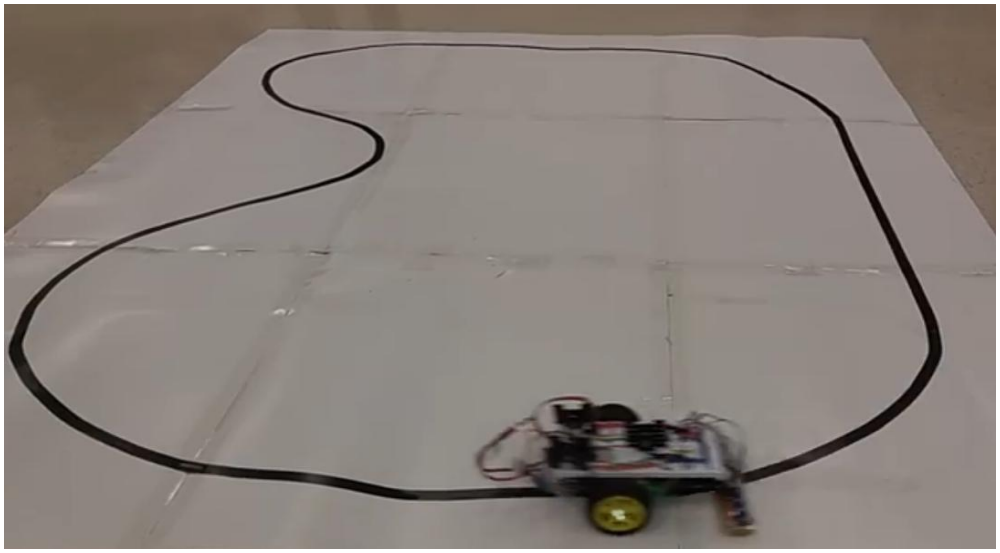
# Introduction

Cours d'instrumentation
et mesure

appliquées à quoi au juste ?

aux circuits électriques



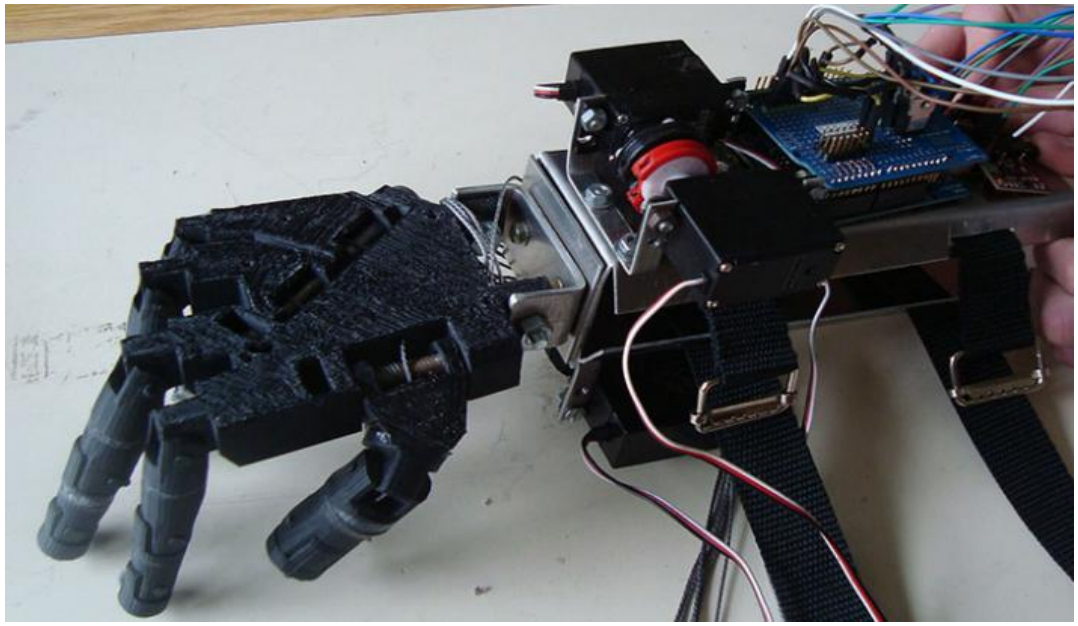


# Introduction

Cours d'instrumentation
et mesure

appliquées à quoi au juste ?

aux circuits électriques



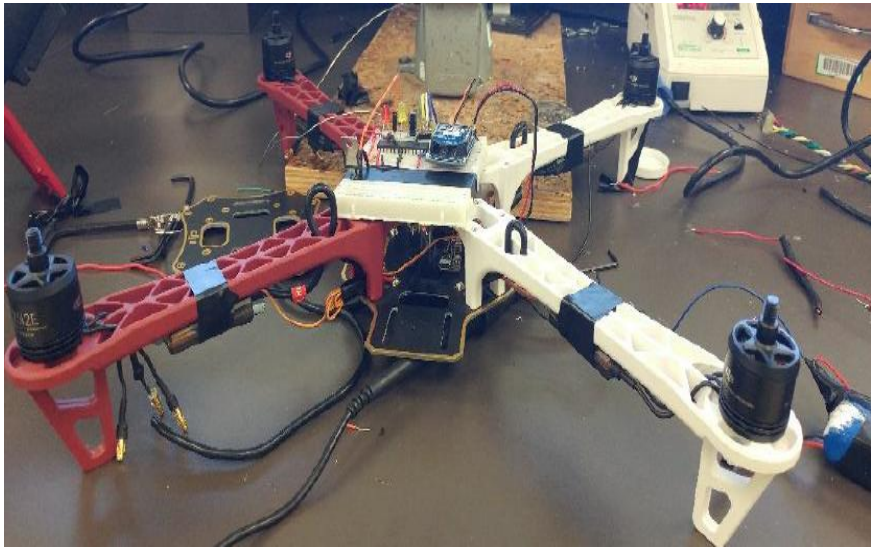
# Introduction

Cours d'instrumentation
et mesure

appliquées à quoi au juste ?

aux circuits électriques

Pourquoi faire?



# Introduction

Cours d'instrumentation
et mes ure

liquée ste ?

aux

Nécessaire à la conce
- pour compre
- pour s'assurer qu
- pour débugger

Qu'est ce qu'un circuit électrique?

Et quelles sont les grandeurs à mesurer?

Qu'est ce que la mesure et ses problématiques?

# Plan du cours

- Notions liées au circuit électrique
- Les dangers liés à la conception électrique
- Unités de mesure électrique de base
- La mesure

# Notions liées au circuit électrique

- Qu'est ce que l'électricité?

  **L'électricité** est produite par le déplacement de particules chargées (électrons), à l'intérieur d'un **conducteur.** (source : Wikipédia)

- Qu'est ce qu'un conducteur?

  Un **conducteur** est un corps capable de laisser circuler les particules chargées (électrons) librement. C'est l'inverse d'un isolant. (source : Wikipédia)

  → Fils ou pistes en cuivre, argent, or, etc...

- Quelles sont les deux grandeurs de base d'un circuit électrique?

  - La tension électrique
  - Le courant électrique

  Unité?

# Notions liées au circuit électrique

- Qu'est ce que la tension électrique?

**La tension** constitue l'énergie nécessaire pour faire déplacer les particules chargées (électrons). (source : Wikipédia)

Pour cette raison, l'unité de tension correspond à l'énergie divisée par la charge électrique. (source : Wikipédia)

$$u = \frac{dw}{dq}\,[\mathrm{V}]$$

→ Énergie $w$, Joule noté J

→ Charge $q$, en Coulomb noté C

→ Une tension de 1 Volt correspond à la différence de potentiel entre deux points d'un circuit, si 1 Joule d'énergie a été utilisé pour déplacer une charge de particules de 1 Coulomb.

→ Une tension crée le courant électrique en donnant l'énergie nécessaire au déplacement des électrons.

→ La tension (différence de potentiel) entre les points A et B vaut :

$$U_{AB} = U_A - U_B$$

# Notions liées au circuit électrique

- Qu'est ce que le courant électrique?

**Un courant électrique** quantifie le déplacement de porteurs de charges électriques (électrons) dans un conducteur. (source : Wikipédia)

C'est la quantité de charge qui se déplace dans le conducteur dans un temps donné. (source : Wikipédia)

$$i = \frac{dq}{dt}\,[\mathrm{A}]$$

→ Charge $q$, en Coulomb noté C

→ Temps $t$

→ Un courant de 1 A correspond à une charge de 1 Coulomb qui a traversé le conducteur en 1 seconde.

- Analogie avec un écoulement de fluide

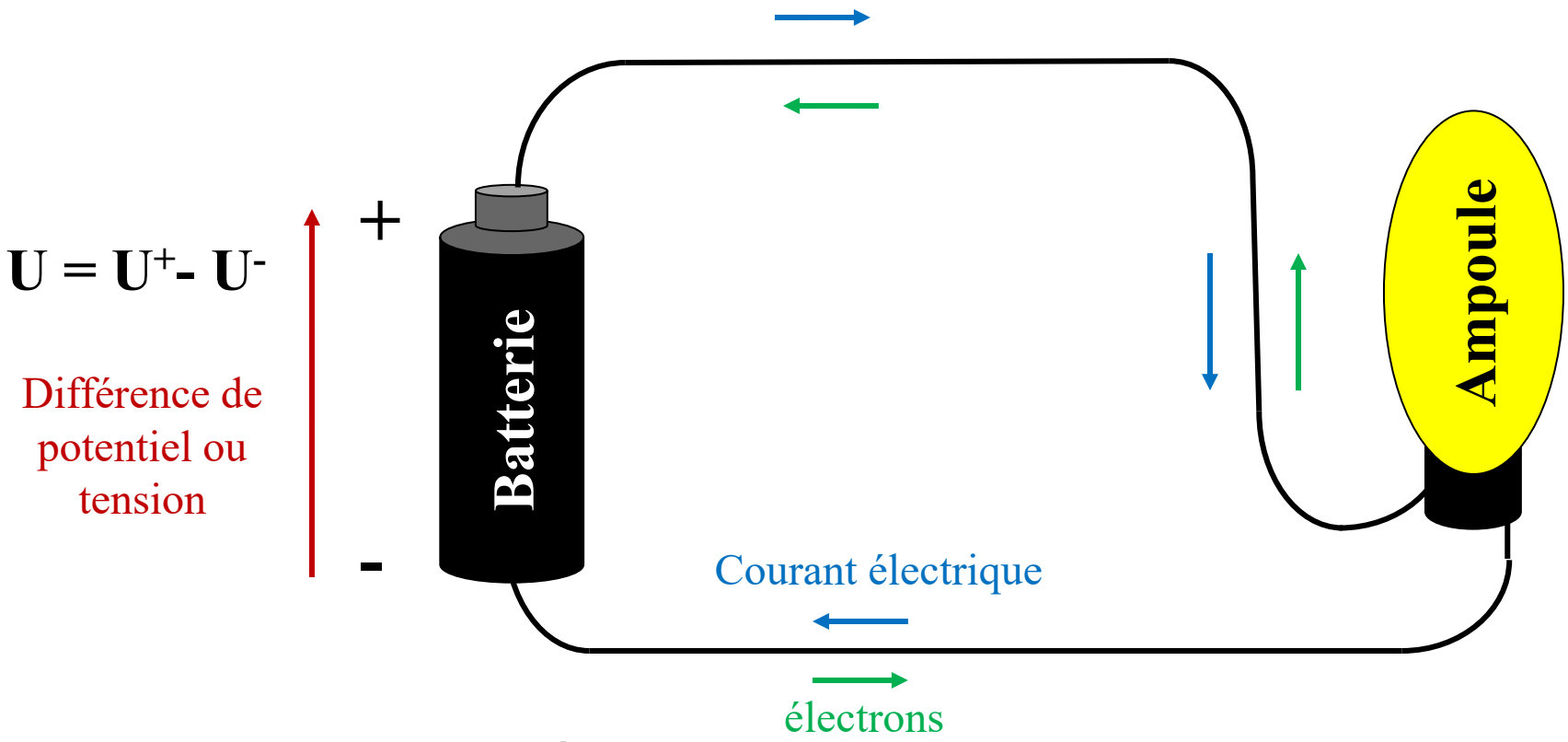
Soit de l'eau qui s'écoule dans un tuyau :

- **La quantité d'eau dans le tuyau** correspond à **la charge électrique**
- **Le débit** correspond au **courant électrique**
- **La pression** correspond **à la tension**.

Plus la tension est forte plus le courant est important.

# Notions liées au circuit électrique

- Exemple d'un circuit simple?




- Sens du courant & des électrons
  - Le courant sort de la borne + de la pile vers la borne -
  - Les électrons se déplacent en sens inverse (borne – vers borne +).

# Notions liées au circuit électrique

- Qu'est ce que la puissance électrique?

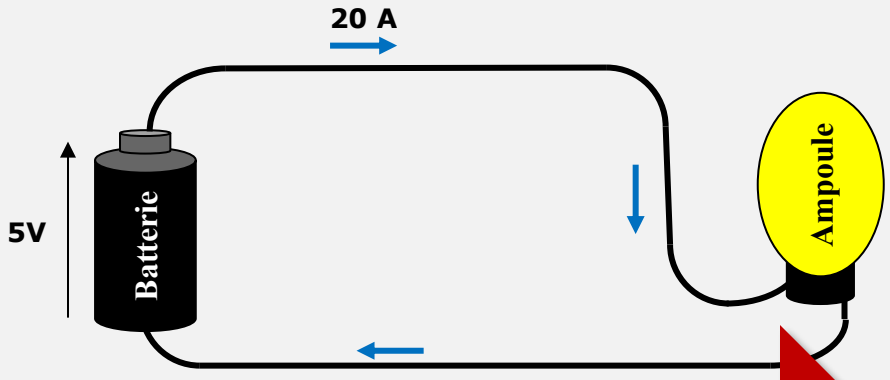
La **puissance électrique** correspond à la quantité d'énergie consommée dans un temps donné. (source : Wikipédia)

$$p = \frac{dw}{dt}$$ Unité?

- Quelle est la relation entre la puissance, la tension et le courant?

$$p = \frac{dw}{dt}$$

On note : $P = ui$




Quelle est la puissance dissipée par l'ampoule?

$$P = ui = 5 \times 20 = 100\,\text{W}$$

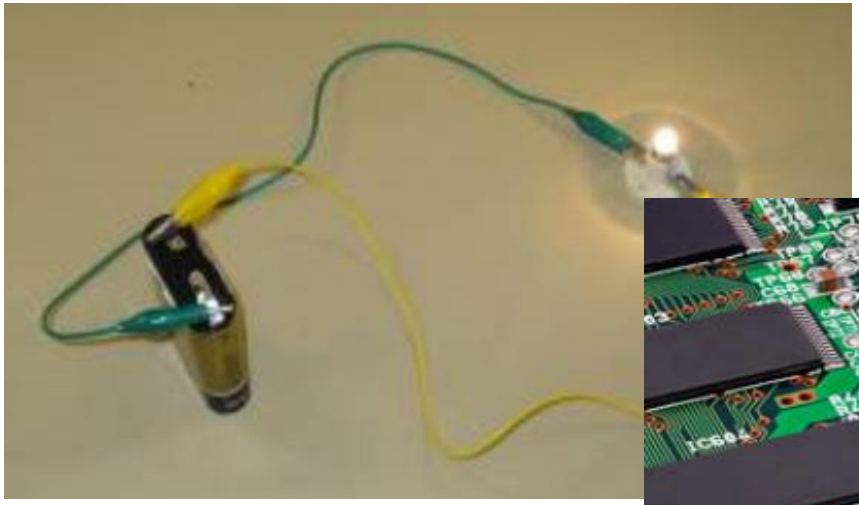
**L'énergie se transforme en puissance et en chaleur**

**Attention au choix des composants et à la tension fournie!!**

# Notions liées au circuit électrique

- Qu'est ce qu'un circuit électrique?

Un **circuit électrique** est un ensemble simple ou complexe de conducteurs et de **composants électriques** ou électroniques parcourus par un courant électrique. (source : Wikipédia)



# Notions liées au circuit électrique

- Qu'est ce qu'un circuit électrique?

  Un **circuit électrique** est un ensemble simple ou complexe de conducteurs et de **composants électriques** ou électroniques parcourus par un courant électrique. (source : Wikipédia)

- Qu'est ce qu'un composant électrique?

  **Un composant électrique** est un objet ayant des propriétés électriques particulières qui le rendent utile pour la réalisation de montages électriques.

- Quels sont les éléments de base d'un circuit électrique?
  - **Résistances**
  - **Condensateurs**
  - **Inductances**
  - **Générateurs :**
    - Tension / Courant
    - Continu / alternatif

# Notions liées au circuit électrique

## Qu'est ce qu'un générateur?

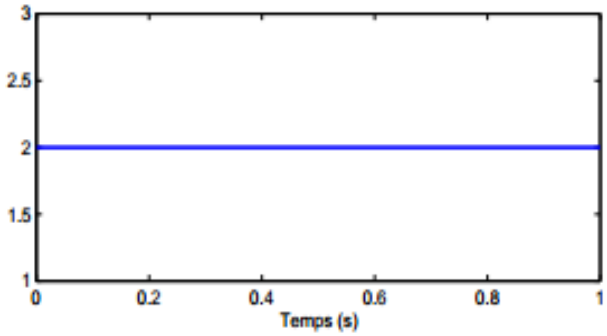
Un **générateur** électrique est un dispositif permettant de produire de l'énergie électrique à partir d'une autre forme d'énergie. Par opposition, un appareil qui consomme de l'énergie électrique s'appelle un récepteur électrique. (source : Wikipédia)

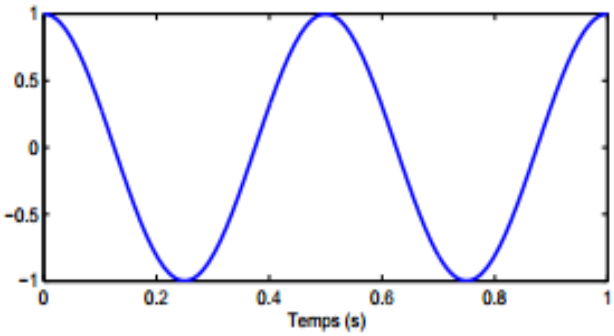
**Exemple :**

- Les **batteries** convertissent *quoi?*
- Les **génératrices** convertissent *quoi?*
- Les **panneaux solaires** convertissent *quoi?*

➔ Deux types de source : (i) source continue (DC) et (ii) source alternative (AC)

**Continu ou alternatif?**



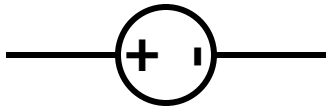



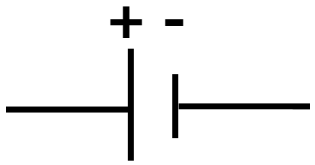
# Notions liées au circuit électrique

- Qu'est ce qu'une source de tension?

  Une source de tension maintient la tension fixée à ses bornes. Le courant qui traverse la source de tension dépend du circuit externe auquel il est connecté.

  Symbole ?

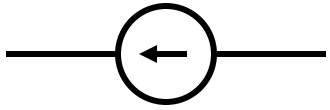



- Qu'est ce qu'une source de courant?

  Une source de courant maintient le courant fixé à ces bornes. La tension qui traverse la source de courant dépend du circuit externe auquel il est connecté.

  Symbole ?



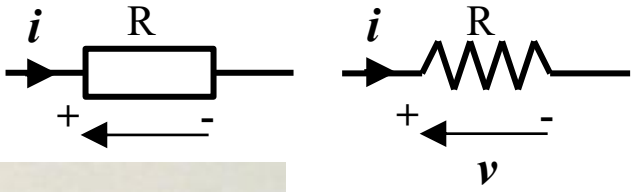
# Notions liées au circuit électrique

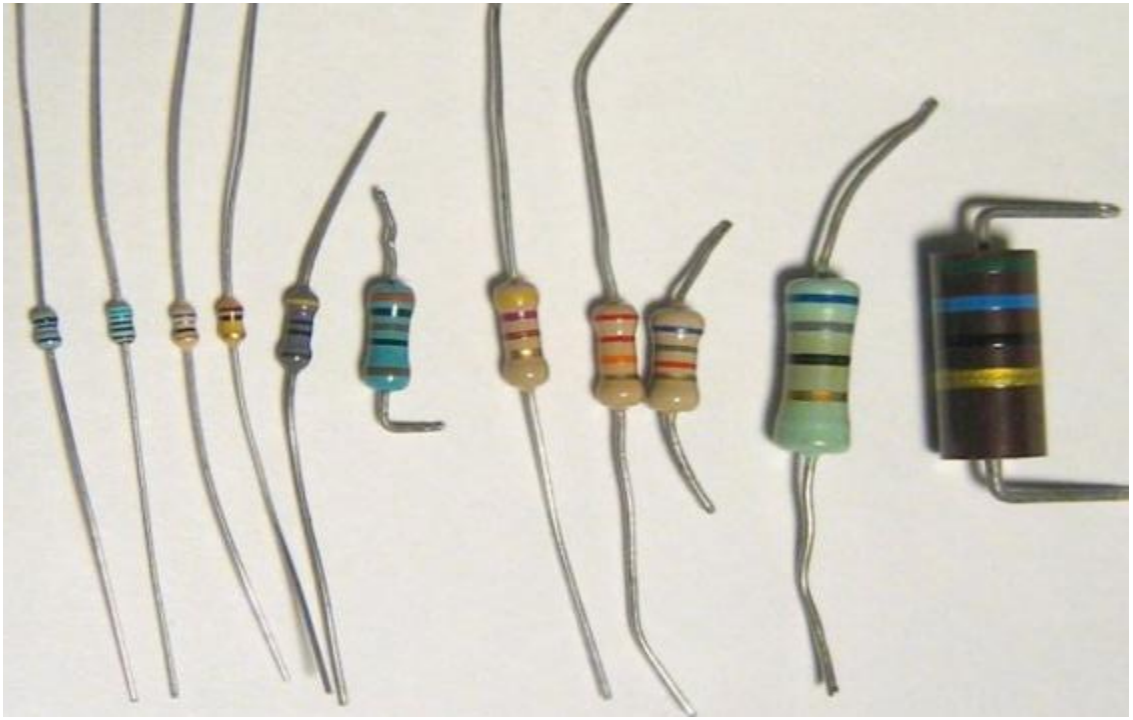
- Qu'est ce qu'une résistance?

**Une résistance** est un composant électronique ou électrique dont la principale caractéristique est d'opposer une plus ou moins grande résistance à la circulation du courant électrique. (source : Wikipédia)

Unité ?

Symbole ?



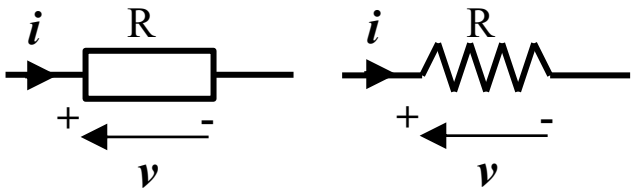
# Notions liées au circuit électrique

- Qu'est ce qu'une résistance?

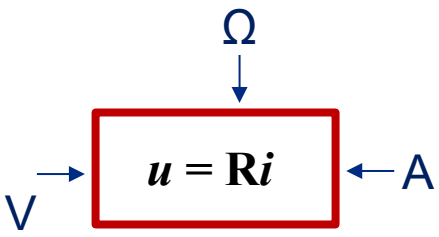
  **Une résistance** est un composant électronique ou électrique dont la principale caractéristique est d'opposer une plus ou moins grande résistance à la circulation du courant électrique. (source : Wikipédia)

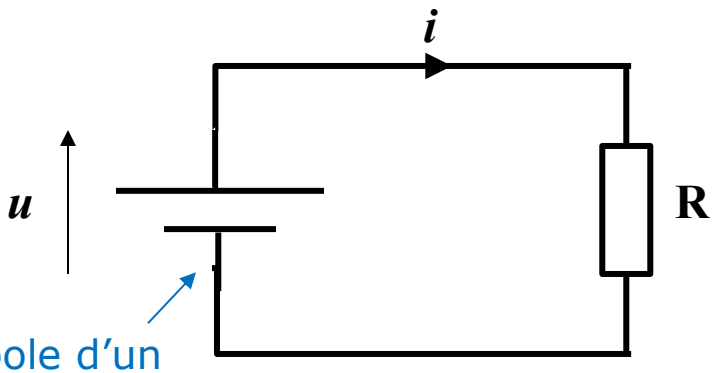
  Unité ?

  Symbole ?




- La loi d'Ohm :




Symbole d'un générateur de tension continue (une pile)

Si $i$ = 0,2A et $u$ = 10V, que vaut la résistance $R$?

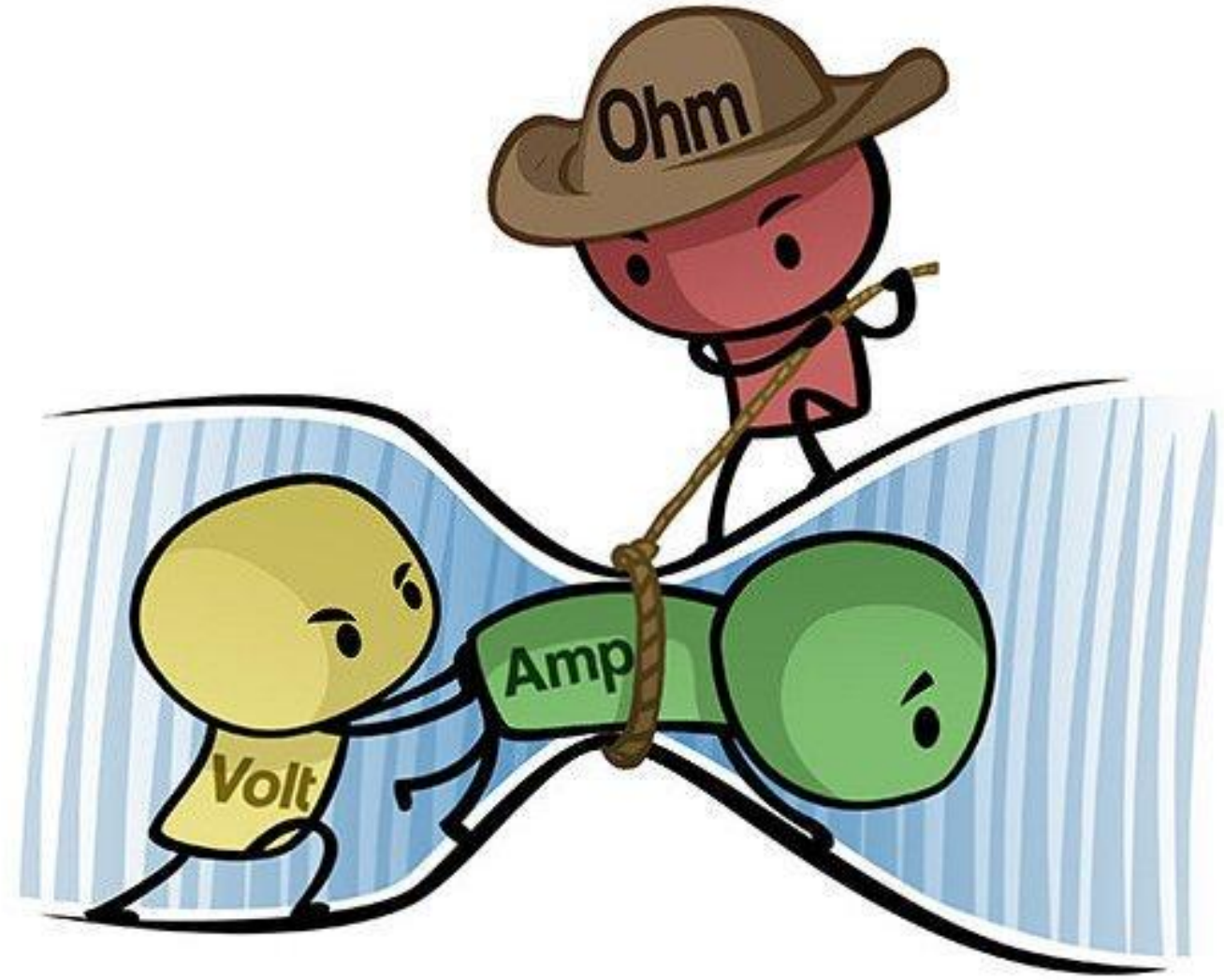
$$R = u / i$$
$$= 10/0,2 = 50\Omega$$

- Analogie avec l'écoulement d'un fluide :

  La résistance peut être vu comme un objet qui bouche un tuyau. Il se crée une différence de pression à ses extrémités, comme la différence de potentiel aux bornes de la résistance.

# Notions liées aux circuits électriques

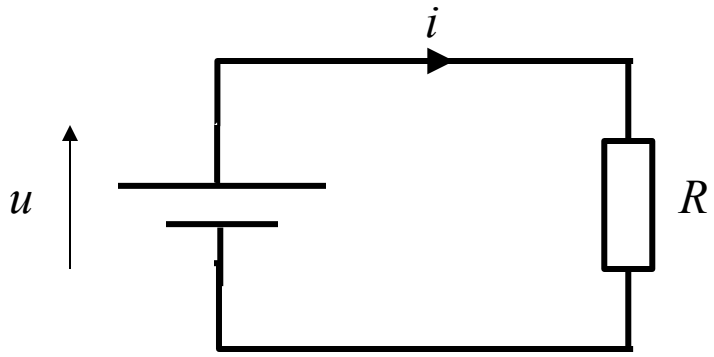
- Une autre façon de visualiser la loi d'Ohm:




https://twitter.com/sciencespoulet/status/1028927558593769472

# Notions liées au circuit électrique

- Puissance dans une résistance




$P = ui$, connaissant loi d'Ohm $\boldsymbol{u} = \mathbf{R}\boldsymbol{i}$

$$P = Ri^2 = \frac{u^2}{R}$$

→ Une résistance consomme de la puissance qui est transformée en chaleur.

- Qu'est ce que la conductance?

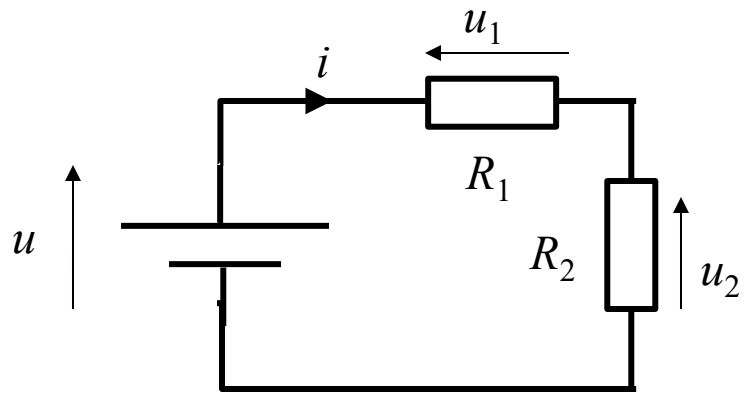
Soumis à une différence de potentiel, les corps laissent passer une certaine quantité de courant électrique. La **conductance** est une représentation de cette capacité à laisser passer le courant. Elle est donc l'inverse de la résistance. (source : Wikipédia)

Unité ?

$$G = \frac{1}{R}$$

# Notions liées au circuit électrique

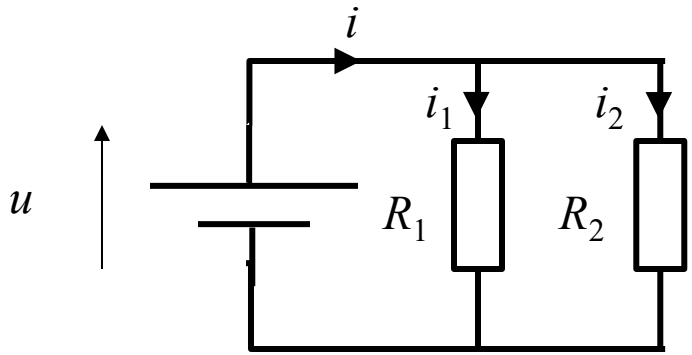
- Résistances en série:




**Additivité des tensions**

$$u = u_1 + u_2$$
$$= R_1 i + R_2 i$$

- Résistances en parallèle:




**Additivité des courants**

$$i = i_1 + i_2$$
$$= u/R_1 + u/R_2$$

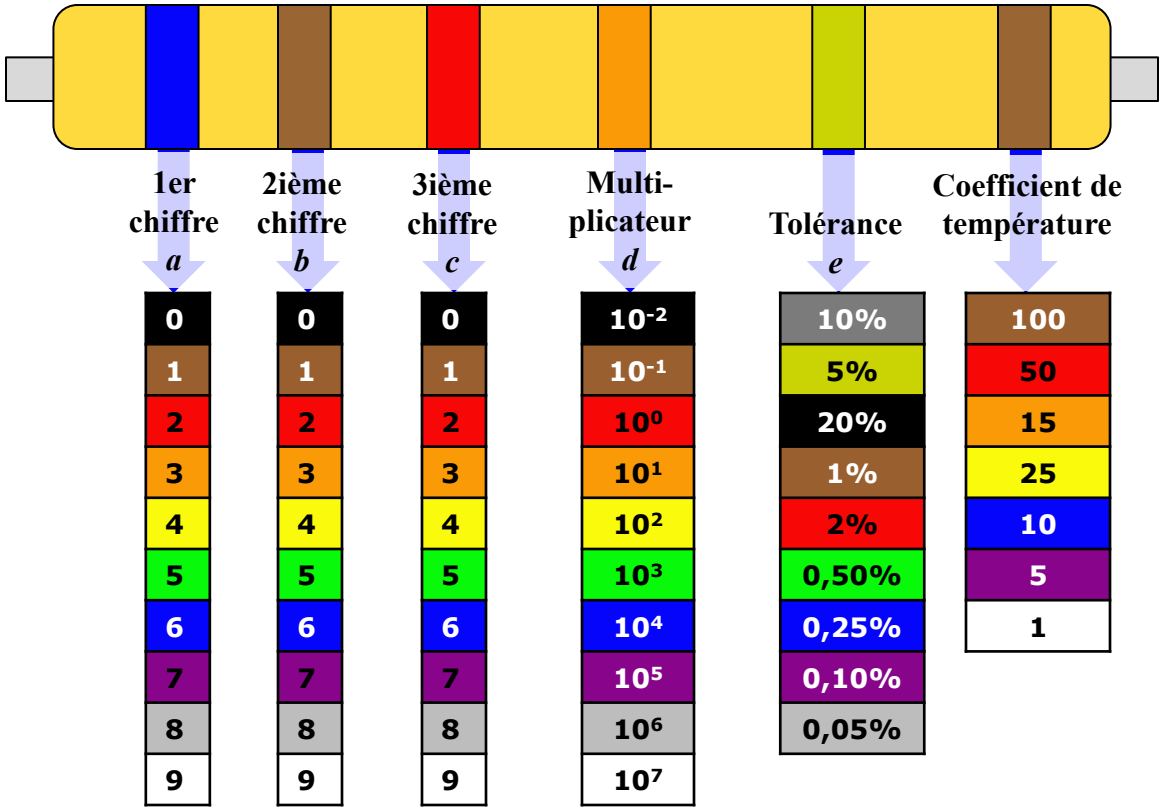
# Notions liées au circuit électrique

- Comment identifier la valeur d'une résistance?

Il existe différents types de résistances. Elles peuvent avoir des valeurs, des tolérances de précisions et des tolérances à

Un code de couleur informe sur la valeur d'une r

**En bref, les valeurs de résistances varie en fonction de la température**




**Le coefficient de température** est le quotient de la variation relative de la résistance par la variation de température. Il s'exprime en partie par million par degré celcius (ppm /°C).

Pour les résistances courantes, le coefficient de température est 50ppm/°C ou 100ppm/°C.

Par exemple, une résistance de **2 000**Ω à 20°C ayant un coefficient de température de **100**ppm/°C augmente sa valeur de 0,2Ω pour chaque élévation de la température de 1°C :

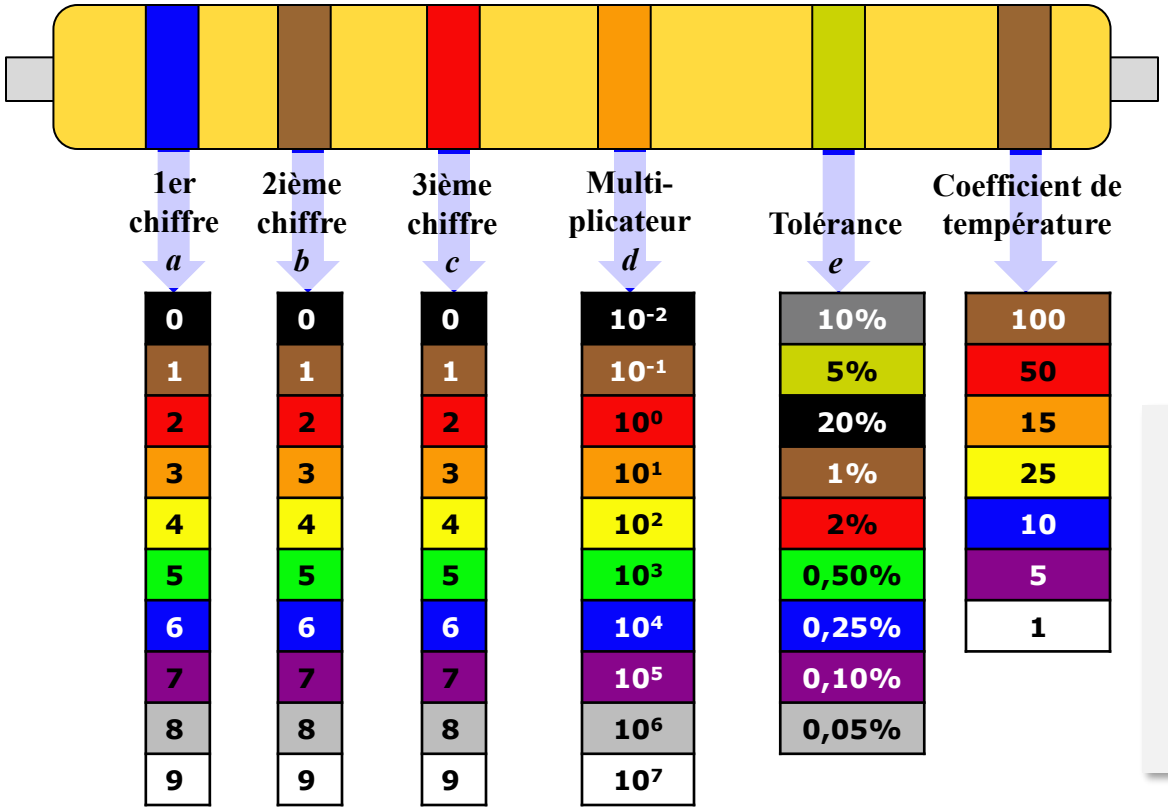
**2 000 x 100 / 1 000 000 = 0,2Ω /°C**

# Notions liées au circuit électrique

- Comment identifier la valeur d'une résistance?

Il existe différents types de résistances. Elles peuvent avoir des valeurs, des tolérances de précisions et des tolérances à la puissance différentes.

Un code de couleur informe sur la valeur d'une résistance :




$$R = (100a + 10b + c) \times d\Omega \pm e$$

Quelle est la valeur de la résistance ici?

$$R = (600 + 10 + 2) \times 10^{1}\Omega \pm 5\%$$
$$= 6{,}12K\Omega \pm 5\%$$

# Notions liées au circuit électrique

- Valeurs des résistances :

La **norme CEI 60063** définit les valeurs préférentiellement utilisées pour les composants électroniques de type résistance.

Ces valeurs ont été choisies pour qu'elles soient espacées régulièrement sur une échelle logarithmique.

Voici en prenant la racine douzième de 10 comme incrément :

$$\sqrt[12]{10} = 1,2115 \; = 10\text{^}(1/12)$$

| n | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | ... |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $(\sqrt[12]{10})^n$ | 1,00 | 1,21 | 1,47 | 1,78 | 2,15 | 2,61 | 3,16 | 3,83 | 4,64 | 5,62 | 6,81 | 8,25 | 10,0 | 12,1 | 14,7 | 17,8 | 21,5 | ... |
| Retenu | 1,0 | 1,2 | 1,5 | 1,8 | 2,2 | 2,7 | 3,3 | 3,9 | 4,7 | 5,6 | 6,8 | 8,2 | 10 | 12 | 15 | 18 | 22 | ... |

# Notions liées au circuit électrique

- Valeurs des résistances :

Ainsi, on trouve les valeurs standards des résistances comme ci-après :

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1Ω | 1.2Ω | 1.5Ω | 1.8Ω | 2.2Ω | 2.7Ω | 3.3Ω | 3.9Ω | 4,7Ω | 5.6Ω | 6.8Ω | 8.2Ω |
| 10Ω | 12Ω | 15Ω | 18Ω | 22Ω | 27Ω | 33Ω | 39Ω | 47Ω | 56Ω | 68Ω | 82Ω |
| 100Ω | 120Ω | 150Ω | 180Ω | 220Ω | 270Ω | 330Ω | 390Ω | 470Ω | 560Ω | 680Ω | 820Ω |
| 1kΩ | 1.2kΩ | 1.5kΩ | 1.8kΩ | 2.2kΩ | 2.7kΩ | 3.3kΩ | 3.9kΩ | 4.7kΩ | 5.6kΩ | 6.8kΩ | 8.2kΩ |
| 10kΩ | 12kΩ | 15kΩ | 18kΩ | 22kΩ | 27kΩ | 33kΩ | 39kΩ | 47kΩ | 56kΩ | 68kΩ | 82kΩ |

Etc.

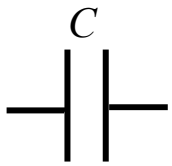
# Notions liées au circuit électrique

- Qu'est-ce qu'un condensateur?

**Un condensateur** est constitué de deux électrodes séparées par un isolant. Quand un courant le traverse, les électrons sont bloqués par l'isolant et s'accumulent. Un condensateur sert à stocker de l'énergie électrique.

Unité ?

Symbole ?




→ La relation caractéristique d'un condensateur idéal est : $i = C\frac{du}{dt}$

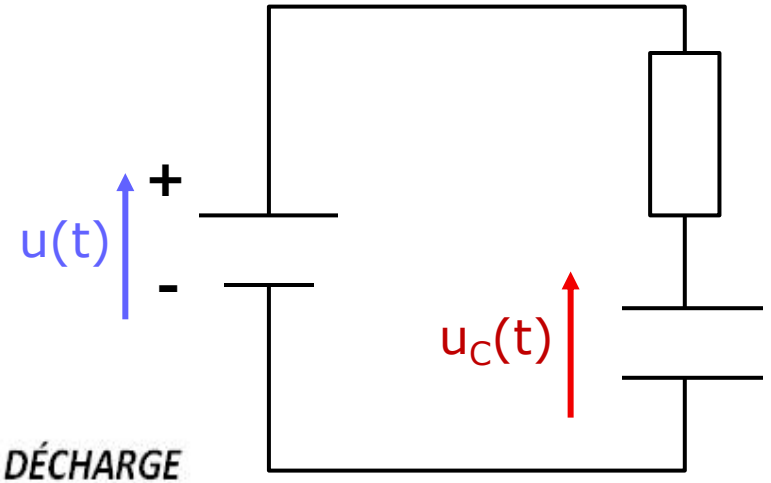
- Si la tension est constante $\frac{du}{dt} = 0$ donc $i = 0$ → interrupteur ouvert.
- Intéressant qu'en régime variable → charge et décharge.
- Il ne peut pas y avoir de variation instantanée de tension dans un condensateur.

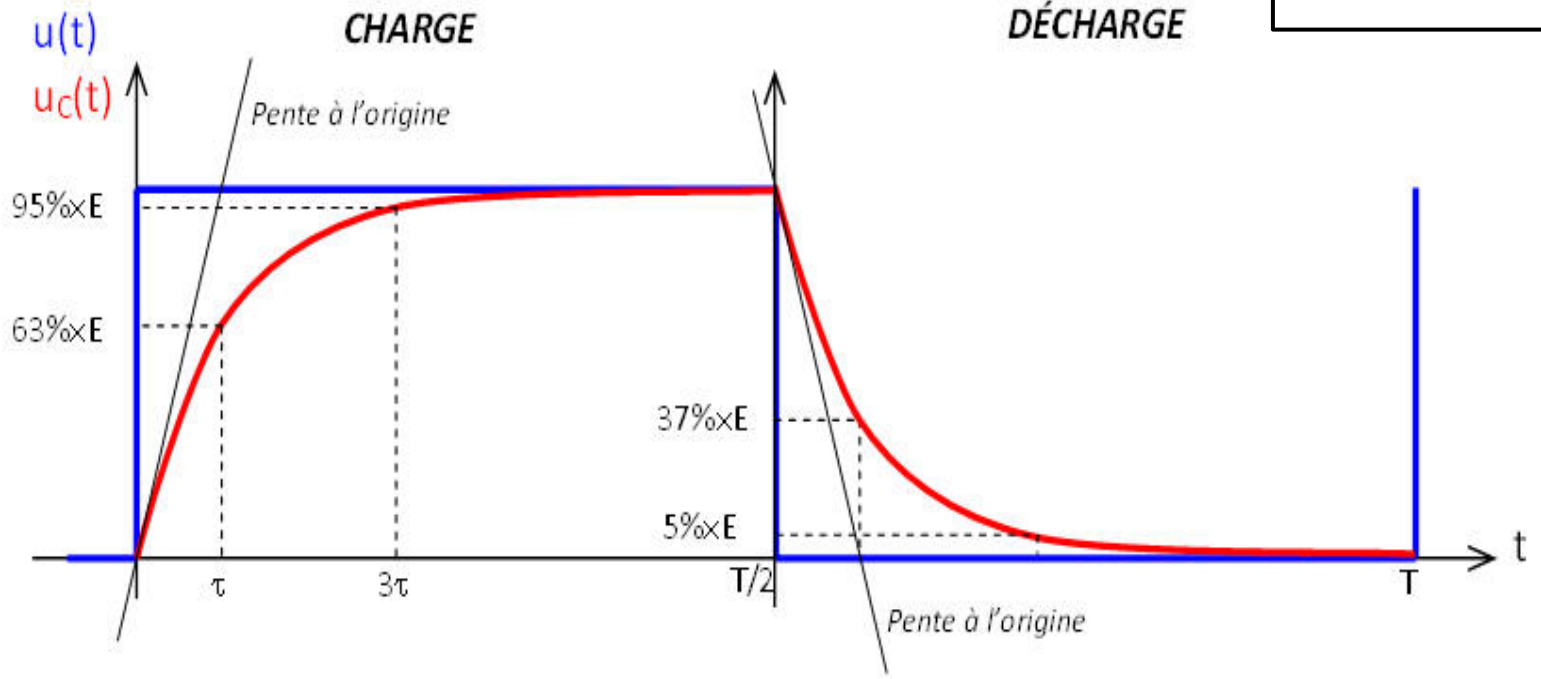
→ Utiliser pour séparer une tension alternative (AC) d'une tension continue (DC), cette dernière étant bloquée par le condensateur.

→ Utiliser pour stabiliser une alimentation électrique (il se décharge lors des chutes de tension et se charge lors des pics de tension)

# Notions liées au circuit électrique

- Qu'est-ce qu'un condensateur?




http://sa.ge.sts.free.fr/Wiki/pmwiki.php?n=SA.RegTrans1RC

# Notions liées au circuit électrique

- Précisions sur condensateurs:

- Il existe deux types principaux de condensateur **?**

- Afin d'atteindre des valeurs en Farad plus élevées, le type de fabrication doit changer.
  - Condensateurs céramiques → valeurs en Farad < 1µF
  - Condensateurs polarisés → valeurs en Farad > 1µF

**?**

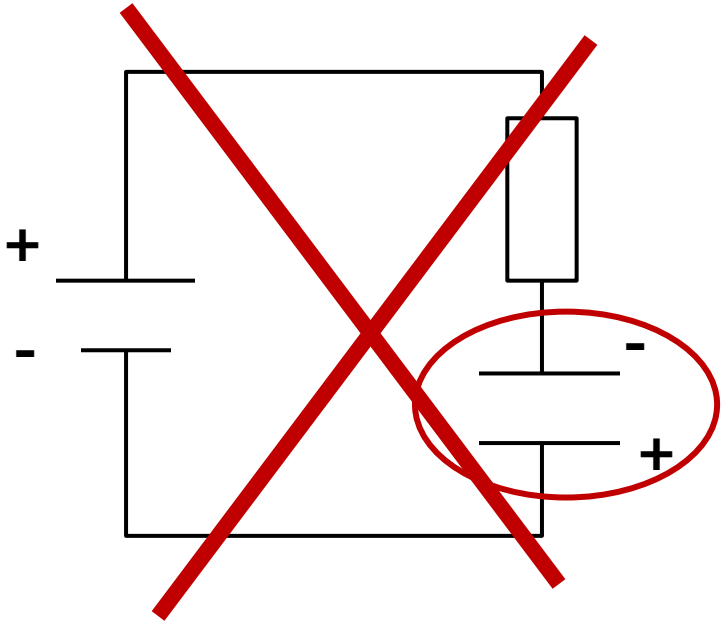
- **!Attention!** au branchement des condensateurs polarisés

- Indication des valeurs des condensateurs : assez de place sur les polarisés mais pas assez sur les condensateurs en Céramique.

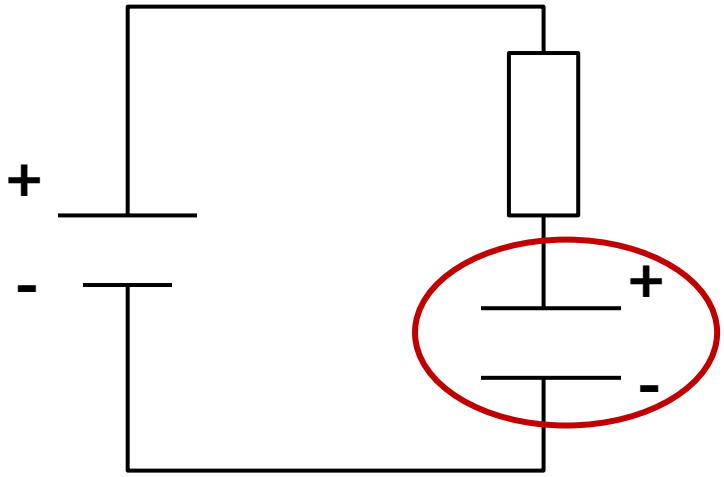
# Notions liées au circuit électrique

- Condensateur polarisé :

négatif




?



# Notions liées au circuit électrique

- Code de valeurs des condensateurs céramiques :

Rappel:
m: $10^{-6}$
n: $10^{-9}$
p: $10^{-12}$

  - Ça semble un peu l'anarchie pour les codes de valeur des condensateurs céramiques :

Indication de la capacité

**47** : 47pF
**4p7** : 4,7pF - le symbole p (n pour nano, u ou µ pour micro) est à la place du point décimal
**47n** : 47nF
**n47** : 0,47nF = 470pF
**4k7** : 4700pF - sur les condensateurs céramiques, la lettre k peut être un multiplicateur par 1000
**104** : 10x10000pF = 100nF - le 3ème chiffre représente le nombre de zéros à ajouter au nombre formé par les deux premiers chiffres.
**103** : 10x1000pF = 10nF
**102** : 10x100pF = 1nF
**4R7** : 4,7pF - un "R" remplace le point décimal
**R47** : 0,47pF

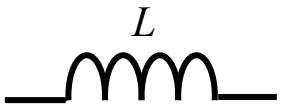
# Notions liées au circuit électrique

- Qu'est-ce qu'une inductance?

**Une inductance** est une bobine qui crée un champ magnétique quand elle est traversée par un courant, ce qui induit une tension à ses bornes. Une bobine stocke de l'énergie sous forme d'un champ magnétique.

Unité ?

Symbole ?




→ La relation caractéristique d'une inductance idéale est : $u = L\frac{di}{dt}$

- Si le courant est constant $\frac{di}{dt} = 0$ donc $u = ri$, car en fait $u = L\frac{di}{dt} + ri$

  → Se comporte comme une résistance faible.

- Intéressant en régime variable. Il ne peut pas y avoir de variation instantanée de courant dans une inductance.

→ Utiliser pour séparer un courant alternative (AC) d'un courant continue (DC), ce dernier étant bloqué par l'inductance.

# Notions liées au circuit électrique

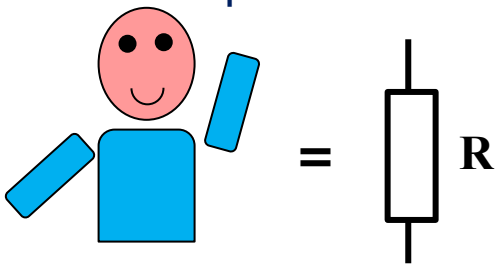
- Illustrations des composants
  - **Résistances :**

  - **Inductances:**

  - **Condensateurs:**

# Les dangers liés à la conception électrique

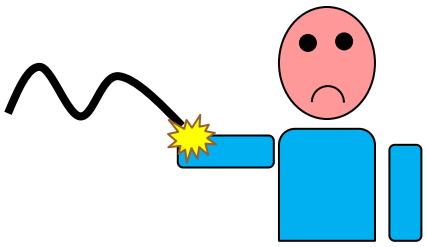
- Effet d'un courant sur le corps humain:
  - Il est essentiel d'être conscient des effets de l'électricité sur le corps humain.
    - ➔ Loi d'Ohm : $u = Ri$ et $i = u/R$
  - La résistance du corps humain est comprise entre 325 à 5000Ω et dépend de :
    - La surface de contact
    - L'épaisseur de la peau
    - L'état de la surface (humidité)
    - La durée de contact




**Exemple pour une tension de 110Volt :**

$i = u/R = 110/5000 = 0{,}022A$
$i = u/R = 110/325 = 0{,}339A$

  - Quel est l'effet d'un courant sur le corps?



$i = u/R$

«Plus la tension est élevée, plus un courant important nous traverse»

- **1mA** : seuil de sensibilisation (picotement)
- **10mA** : contraction musculaire (agir en moins de 4min30)
- **20mA** : début de tétanisation (éjection ou collage, agir en moins de 60s)
- **30mA** : paralysie de la cage thoracique (agir en moins de 30s)
- **40mA** : paralysie de la cage thoracique (agir en moins de 3s)
- **75mA** : fibrillation ventriculaire (1s max)
- **100mA** : arrêt cardiaque (agir en moins de 25ms)
- **200mA** : atteinte des centres nerveux, ***mort instantanée***.

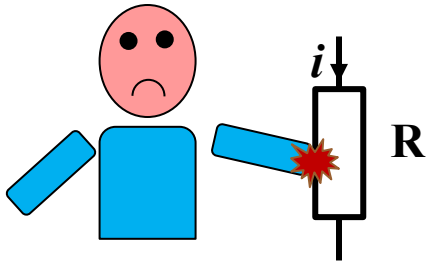
➔ Conséquences peuvent graves : brulures externes et internes, troubles neurologiques, perte de la parole etc…

# Les dangers liés à la conception électrique

- L'effet joule des résistances :

  C'est la manifestation thermique de la résistance électrique qui se produit lors du passage d'une courant électrique. (source : Wikipédia)

  Quand un courant élevé passe à travers une résistance, la puissance dissipée est élevée et on peut se bruler.




$$P=Ri^2$$

- Explosion de condensateurs

  Quand un condensateur est mal branché et/ou qu'on dépasse sa tension d'utilisation, il va exploser.

  ➔Risques d'éjection de projectiles et de produit chimique.

  ➔Douche oculaire.

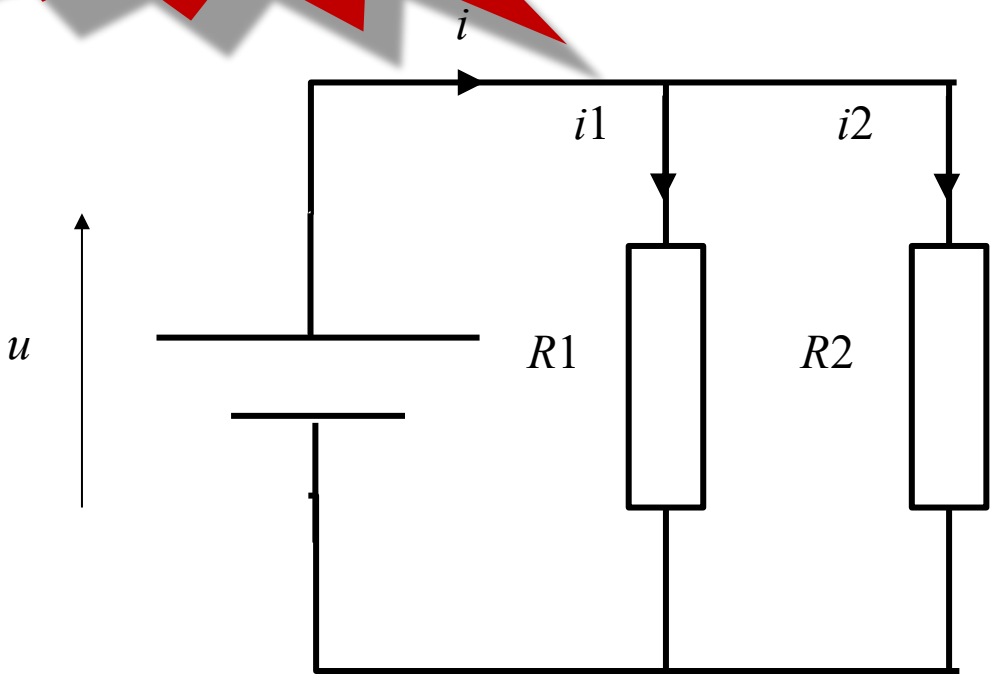
# Unités de mesure électrique de base

| Grandeur | Unité |
| --- | --- |

# La mesure

- Comment connaître les valeurs en jeux dans un circuit?

Il faut prendre des mesures!!!



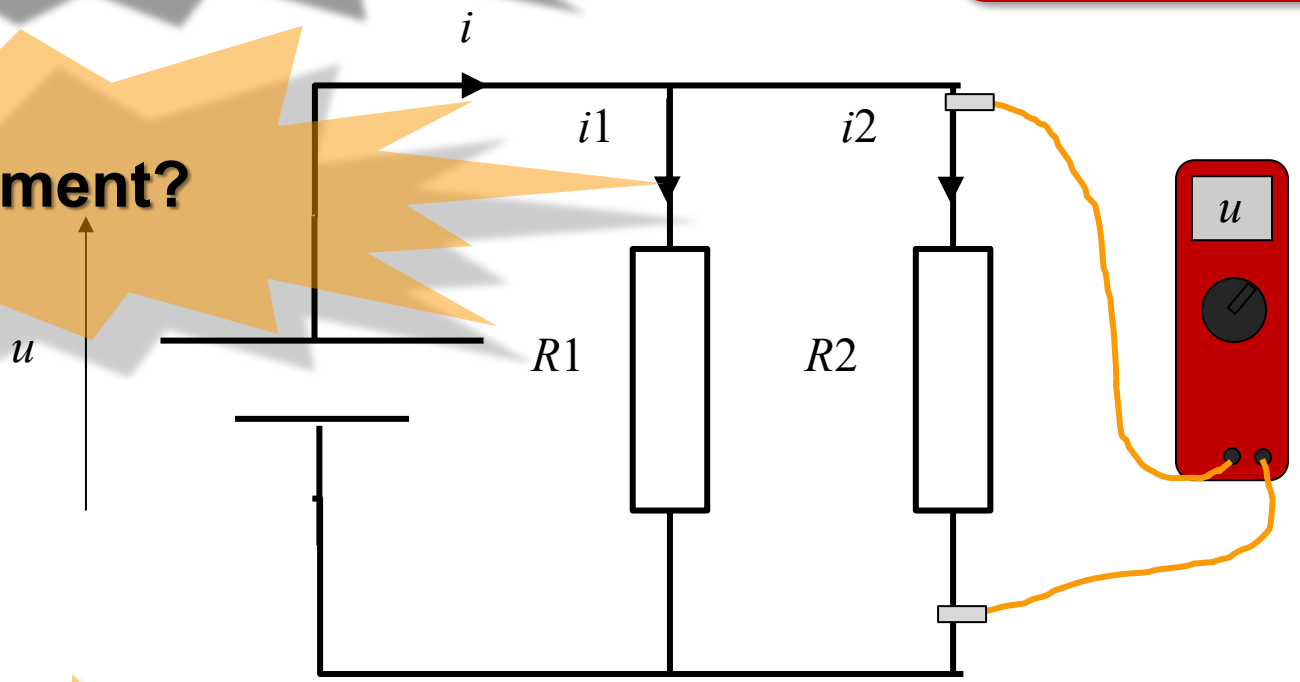
# La mesure

- Comment connaître les valeurs en jeux dans un circuit?

**Avec quoi mesure-t'on une tension?**

**Un voltmètre**

**Comment?**




**en le branchant en parallèle avec la tension à mesurer**

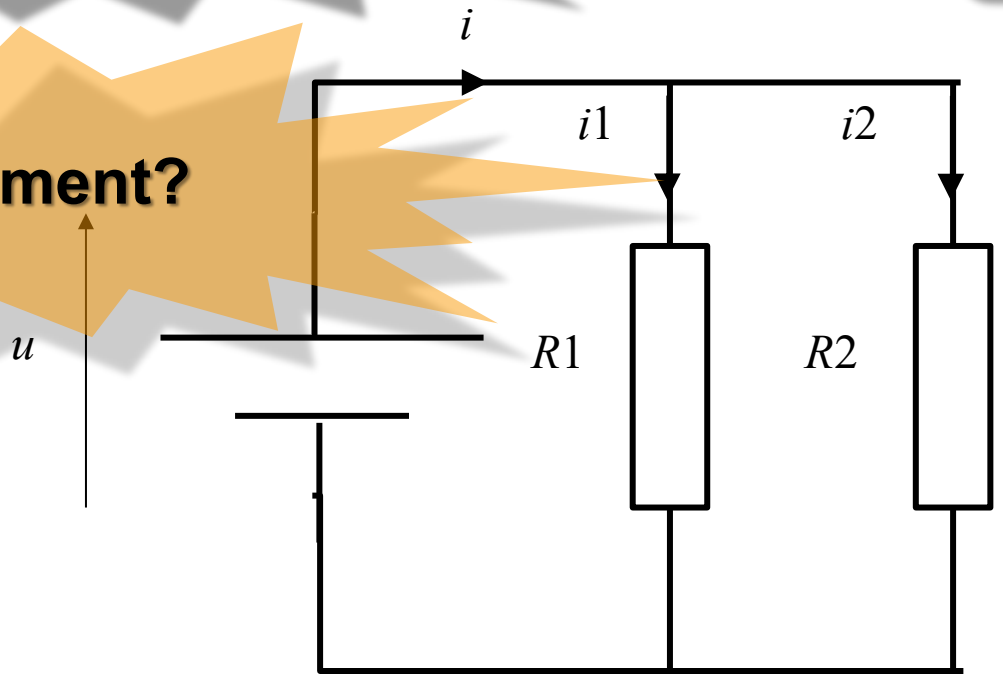
# La mesure

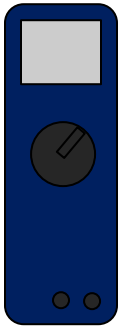
- Comment connaître les valeurs en jeux dans un circuit?

**Avec quoi mesure-t'on un courant?**

**Un Ampèremètre**

**Comment?**



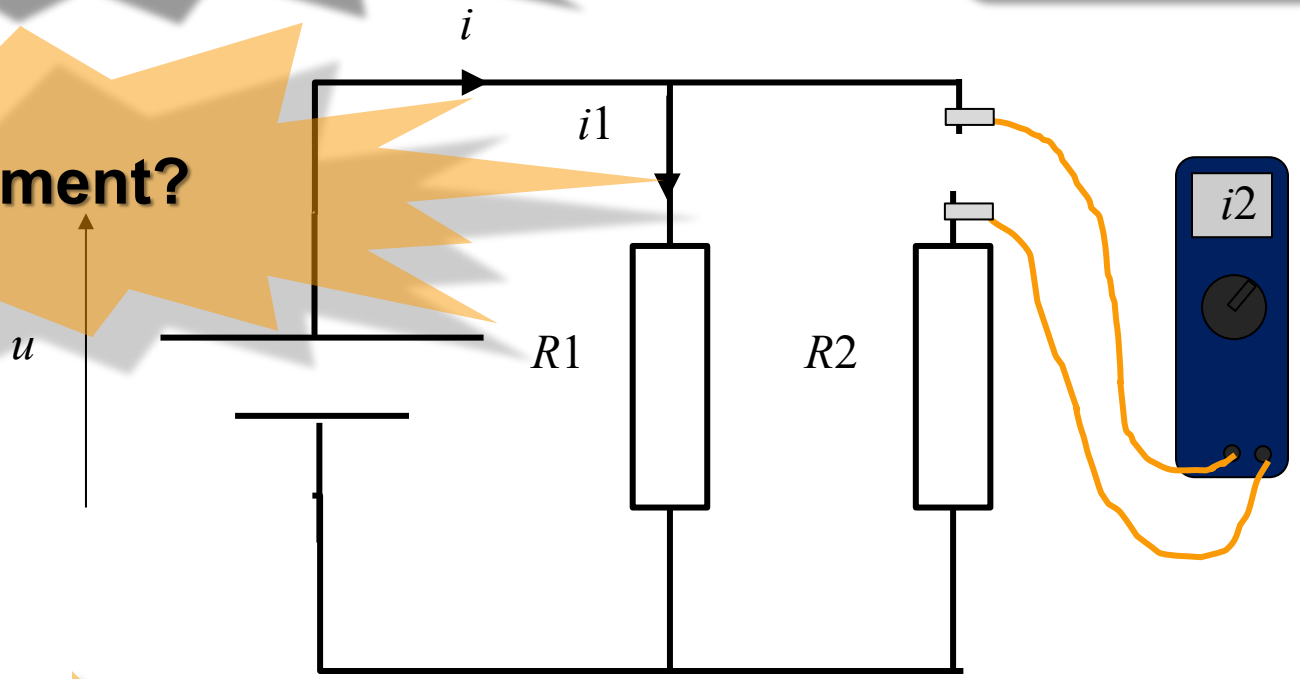
# La mesure

- Comment connaître les valeurs en jeux dans un circuit?

**Avec quoi mesure-t'on un courant?**

**Un Ampèremètre**

**Comment?**




**en le branchant en série avec le courant à mesurer**

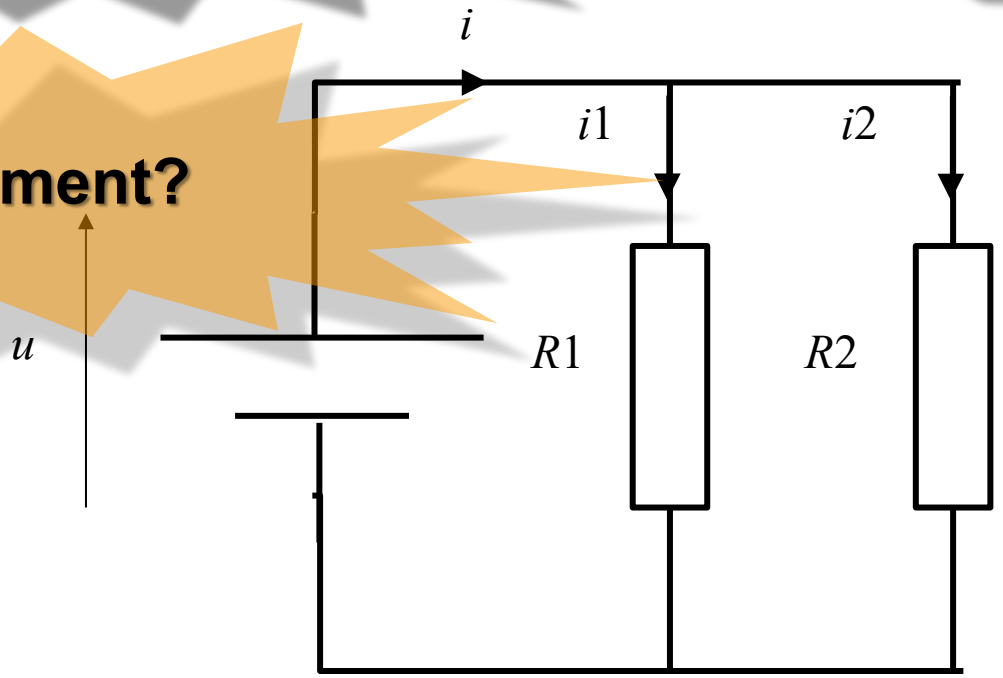
# La mesure

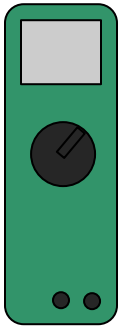
- Comment connaître les valeurs en jeux dans un circuit?

**Avec quoi mesure-t'on une résistance?**

**Un Ohmmètre**

**Comment?**



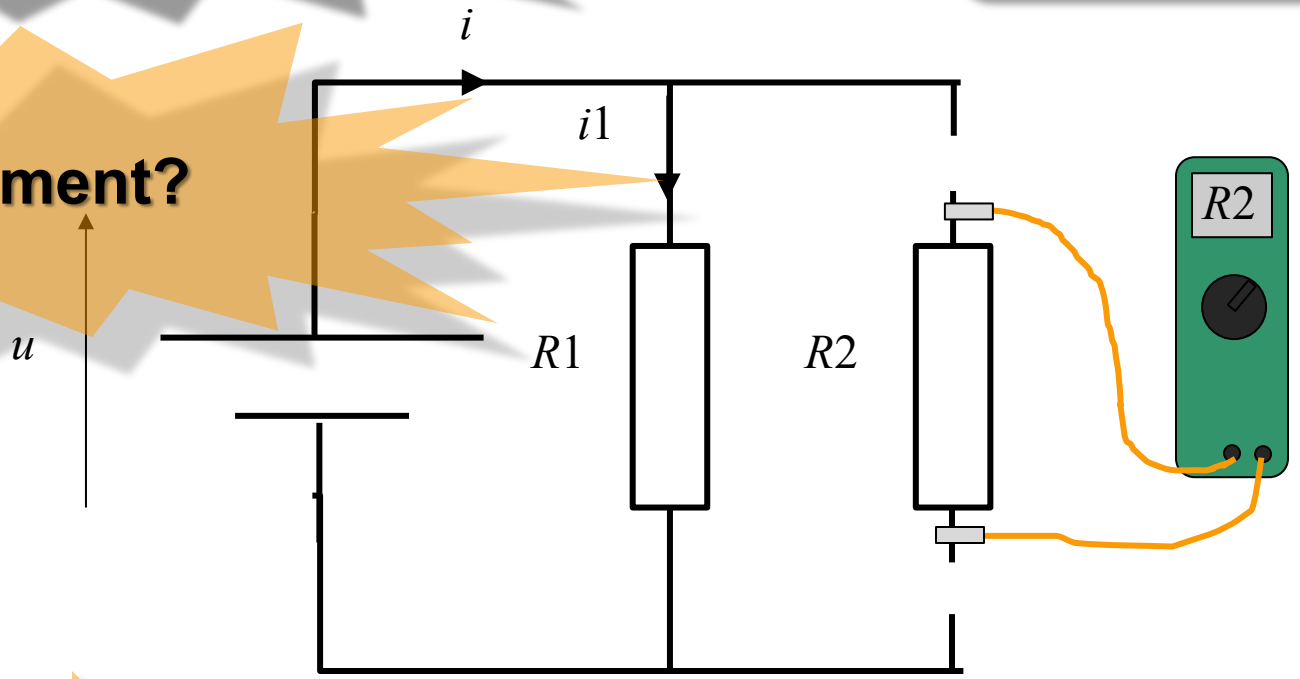
# La mesure

- Comment connaître les valeurs en jeux dans un circuit?

**Avec quoi mesure-t'on une résistance?**

**Un Ohmmètre**

**Comment?**



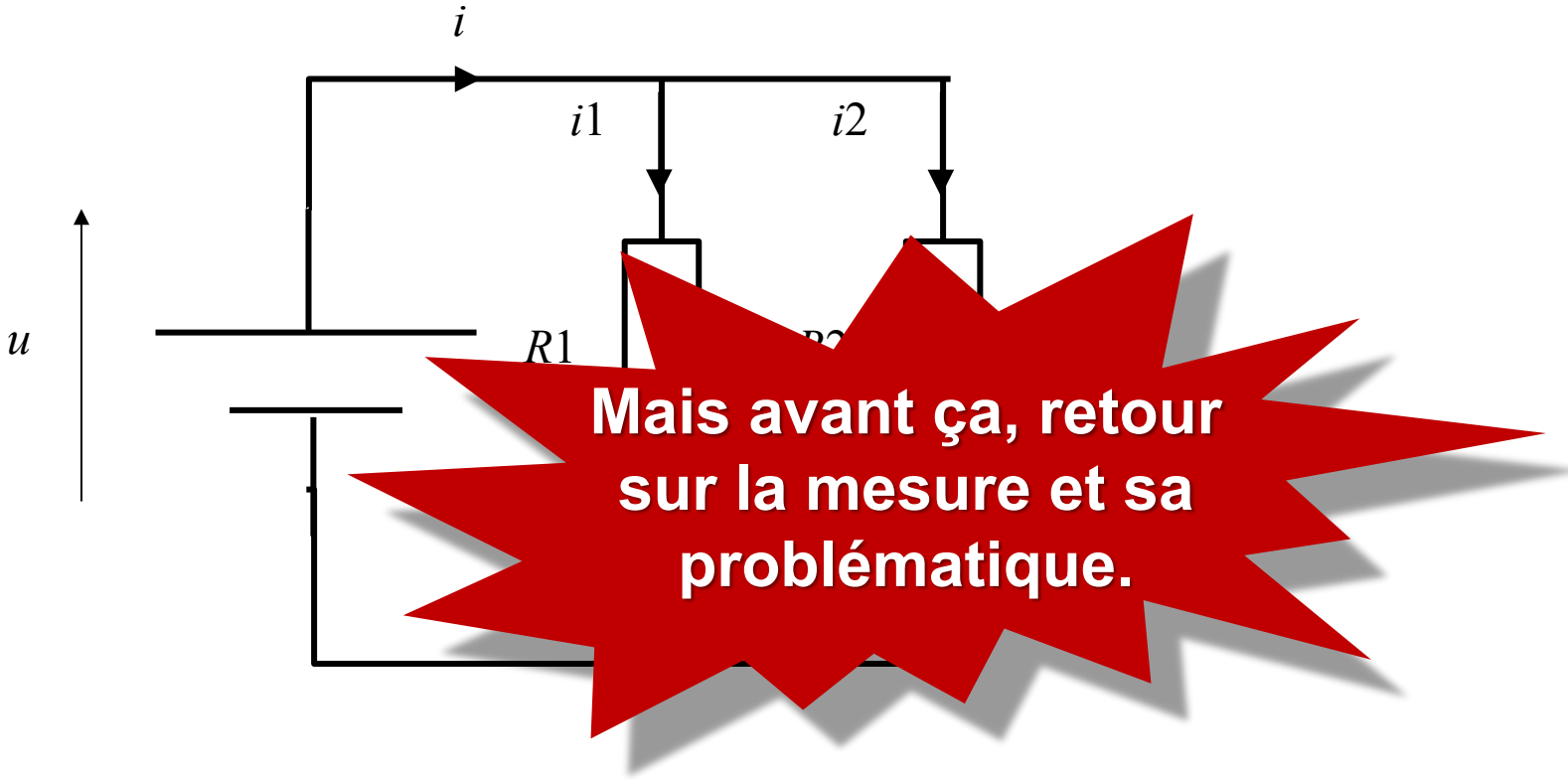

**en le branchant aux bornes de la résistance qui est déconnectée du circuit.**

# La mesure

- Comment connaître les valeurs en jeux dans un circuit?

On utilise donc des appareils de mesure de grandeurs électriques comme le voltmètre, l'ampèremètre et le ohmmètre.

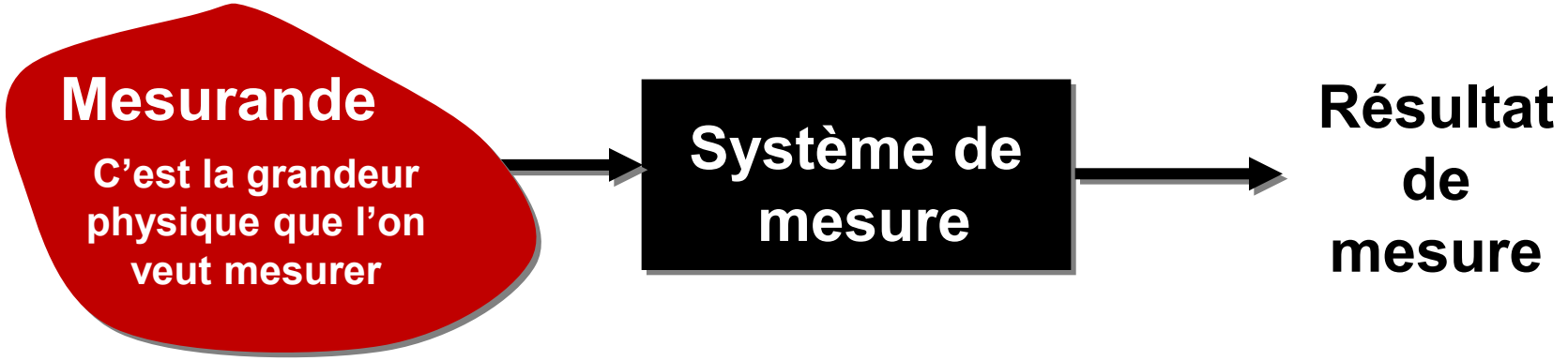
➔ **L'objectif principal de ce court consiste à vous apprendre comment utiliser les différents appareils disponible dans nos laboratoires.**



# La mesure

- Qu'est-ce que la mesure?

  La ***mesure*** est l'ensemble des opérations ayant pour objectif de déterminer la valeur d'une quantité. Elle est effectuée par un ***système de mesure***.




**Le système de mesure a plusieurs opérations pour estimer la mesurande :**

1. le prélèvement de l'information
2. la transduction (conversion d'une grandeur en une autre)
3. la conversion (analogique / numérique)
4. le conditionnement
5. le traitement des signaux
6. la transmission
7. l'affichage (expression du résultat de mesure)

# La mesure

- Problématique de la mesure

➔ Il est impossible d'obtenir une valeur **EXACTE** de la mesurande.

➔ Il s'agit toujours d'une **APPROXIMATION**.

➔ En effet, quelque soit la mesurande, sa mesure est nécessairement entachée **d'erreurs de mesure**.

- Qu'est-ce que l'erreur de mesure?

C'est l'écart entre le résultat de la mesure et la valeur vraie du mesurande.

→ Les erreurs de mesure sont essentiellement dues **aux limites de précisions des appareils** de mesure et **aux erreurs humaines**.

# La mesure

- Types d'erreur
  - Soit la vitesse **exacte** de lumière dans le vide : $c_0 = 299\,792 \text{ km/s}$
  - Soit la vitesse **mesurée** de lumière dans le vide : $\hat{c} = 305\,000 \text{ km/s}$

- <u>L'erreur absolue :</u>

  C'est l'écart en valeur absolue entre le résultat de la mesure et la valeur vraie du mesurande.

$$\Delta c = \left|\hat{c} - c_0\right| = \left|305\,000 - 299\,792\right| \text{ km/s} = 5\,208 \text{ km/s}$$

- <u>L'erreur relative :</u>

  C'est le rapport (quotient) entre l'erreur absolue et la valeur vraie. Ici il n'y a pas d'unité, l'erreur relative est exprimée en %.

$$\frac{\Delta c}{c_0} = \frac{\left|305\,000 - 299\,792\right|}{299\,792} = 0{,}0174 \approx 1{,}74\%$$

# La mesure

- Types d'erreur

  - L'erreur systématique :

    Il s'agit de toutes erreurs de mesure dues à une cause connue ou connaissable, comme par exemple un décalage.

    → Par exemple pour un appareil de mesure décalibré, il peut y avoir un offset constant et mesurable qui l'on peut réajusté après la mesure.

  - L'erreur aléatoire :

    Ce type d'erreur de mesure n'obéit à aucune loi connue lorsqu'elle est prise sur un seul résultat.

    → Par exemple si on demande à une personne de mesurer avec une règle à mesurer le même objet plusieurs fois durant toute une journée. Il n'y aura jamais la même réponse et la cause n'est pas connue. C'est une erreur humaine aléatoire.

    → Ce type d'erreur répond aux lois de la statistique lorsque le nombre de résultat devient très grand.

# La mesure

- L'incertitude:

*Remarque sur le calcul d'erreur :* Lors de la plupart des mesures physiques, on ne dispose pas de la mesure exacte à mesurer. On ne dispose que de la valeur expérimentale.

→ Cependant, on peut se faire une idée de l'erreur maximale de mesure qui peut avoir été commise. On appelle cette estimation de l'erreur, l'**incertitude**.

- L'incertitude absolue :

Le **résultat complet d'une mesure physique** comporte **la valeur la plus probable** de la mesure qui se trouve au centre d'un **l'intervalle** dans lequel on est certain que la vraie valeur se situe. Le **demi-intervalle** est l'**incertitude absolue**.

→ Soit $x$ la valeur la plus probable d'une grandeur $G$ et $\Delta x$ son incertitude absolue, $x_0$ la vrai valeur (qui est inconnue) peut être définie comme suit:

$$x - \Delta x \leq x_0 \leq x + \Delta x \qquad \text{et} \qquad G = x \pm \Delta x$$

# La mesure

- L'incertitude:

- L'incertitude absolue (suite):

Exemple :

1. La longueur d'un objet est de 153±7mm.

   Cela veut dire que l'incertitude absolue est de _.
   Et que la valeur exacte est comprise entre _ et _.

2. La température d'un local est de 22±2°C.

   Cela veut dire que l'incertitude absolue est de _.
   Et que la valeur exacte est comprise entre _ et _.

# La mesure

- L'incertitude:

- <u>L'incertitude Relative:</u>
  - L'incertitude absolue, seule, n'indique rien sur la qualité de la mesure.
  - Pour juger de cette qualité il faut comparer l'incertitude absolue à la grandeur mesurée.
  - Le **rapport entre l'incertitude absolue et la grandeur mesurée** est l'**incertitude relative** qui est en pourcentage (%) comme l'erreur relative:

$$\text{incertitude relative} \rightarrow \frac{\Delta x}{x}$$

<u>Exemple :</u>

1. La longueur d'un objet est de 153±7mm. Incertitude relative? $\frac{\Delta x}{x} = \frac{7}{153} = 4.6\%$

2. La température d'un local est de 22±2°C. Incertitude relative? $\frac{\Delta x}{x} = \frac{2}{22} = 9.1\%$

# La mesure

**Rappel tableau des dérivées**

| Fonction | Dérivée | Condition |
|---|---|---|
| $k\,(constante)$ | $0$ | |
| $ax$ | $a$ | |
| $\frac{1}{x}$ | $-\frac{1}{x^2}$ | $x \neq 0$ |

- Incertitudes d'une grandeur composée:

Exemple:

Soit $x$ une grandeur fonction des trois autres grandeurs $a$, $b$, $c$ et $d$ tel que:

$$x = f(a,b,c,d) \qquad \text{exemple} \quad x = a \times \frac{(b-c)}{d}$$

Déterminez l'incertitude $\Delta x$ en fonction des incertitudes $\Delta a$, $\Delta b$, $\Delta c$ et $\Delta d$?

$$\Delta x = \left|\frac{\partial f}{\partial a}\right| \Delta a + \left|\frac{\partial f}{\partial b}\right| \Delta b + \left|\frac{\partial f}{\partial c}\right| \Delta c + \left|\frac{\partial f}{\partial d}\right| \Delta d$$

Méthode basée sur les dérivées partielles

$$\left|\frac{\partial f}{\partial a}\right| = \left|\frac{b-c}{d}\right| \qquad \left|\frac{\partial f}{\partial b}\right| = \left|\frac{a}{d}\right| \qquad \left|\frac{\partial f}{\partial c}\right| = \left|-\frac{a}{d}\right| \qquad \left|\frac{\partial f}{\partial d}\right| = \left|-a\frac{(b-c)}{d^2}\right|$$

$$\Delta x = \left|\frac{b-c}{d}\right| \Delta a + \left|\frac{a}{d}\right| \Delta b + \left|-\frac{a}{d}\right| \Delta c + \left|-a\frac{(b-c)}{d^2}\right| \Delta d$$

# La mesure

- Incertitudes d'une grandeur composée:

**<u>Exemple #1</u> : somme**

$$x = a + b$$

## Rappel tableau des dérivées

| Fonction | Dérivée | Condition |
|---|---|---|
| $k\,(constante)$ | $0$ | |
| $ax$ | $a$ | |
| $\frac{1}{x}$ | $-\frac{1}{x^2}$ | $x \neq 0$ |

# La mesure

- Incertitudes d'une grandeur composée:

**Exemple #2 : différence**

$$x = a - b$$

*Incertitude absolue*

$$\Delta x = \left|\frac{\partial x}{\partial a}\right| \Delta a + \left|\frac{\partial x}{\partial b}\right| \Delta b \qquad \Rightarrow \Delta x = |1|\Delta a + |-1|\Delta b$$

$$\Delta x = \Delta a + \Delta b$$

➔ *Les incertitudes absolues s'ajoutent pour la soustraction '(tout comme pour l'addition)*

*Incertitude relative*

$$\frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta a + \Delta b}{a - b}$$

**Rappel tableau des dérivées**

| Fonction | Dérivée | Condition |
|---|---|---|
| $k\,(constante)$ | 0 | |
| $ax$ | $a$ | |
| $\frac{1}{x}$ | $-\frac{1}{x^2}$ | $x \neq 0$ |

# La mesure

- Incertitudes d'une grandeur composée:

**<u>Exemple #3</u> : quotient**

$$x = a \times b$$

## Rappel tableau des dérivées

| Fonction | Dérivée | Condition |
|---|---|---|
| $k\,(constante)$ | $0$ | |
| $ax$ | $a$ | |
| $\frac{1}{x}$ | $-\frac{1}{x^2}$ | $x \neq 0$ |

# La mesure

- Incertitudes d'une grandeur composée:

Opérations d'incertitudes les plus courantes :

| Opération | Mesure $x$ | Incertitude absolue $\Delta x$ | Incertitude relative $\Delta x/x$ |
|---|---|---|---|
| somme | $a+b$ | $\Delta a+\Delta b$ | $(\Delta a+\Delta b)/(a+b)$ |

➔ Les incertitudes absolues s'ajoutent pour l'addition et la soustraction.

➔ Les incertitudes relatives s'ajoutent pour la multiplication et la division.

# La mesure

- Incertitudes d'une grandeur composée:

Exemple 1:

Un récipient a une masse de $m$=50±1g. Une fois rempli d'eau, la masse du récipient vaut $\mathrm{M} = 200$±1g.

Quelle est la masse de l'eau avec incertitude absolue?

$$m_{\text{eau}} =$$

Quelle est la masse de l'eau avec incertitude relative ?

$$m_{\text{eau}} =$$

| Opération | Mesure $x$ | Incertitude absolue $\Delta x$ | Incertitude relative $\Delta x/x$ |
|---|---|---|---|
| somme | $a+b$ | $\Delta a+\Delta b$ | $(\Delta a+\Delta b)/(a+b)$ |
| différence | $a-b$ | $\Delta a+\Delta b$ | $(\Delta a+\Delta b)/(a-b)$ |

# La mesure

| | | | |
|---|---|---|---|
| différence | $a-b$ | $\Delta a+\Delta b$ | $(\Delta a+\Delta b)/(a-b)$ |
| produit | $a\times b$ | $a\Delta b+b\Delta a$ | $\Delta a/a+\Delta b/b$ |
| quotient | $a/b$ | $(a\Delta b+b\Delta a)/b^2$ | $\Delta a/a+\Delta b/b$ |
| puissance | $a^n$ | $na^{n-1}\Delta a$ | $n\Delta a/a$ |

- Incertitudes d'une grandeur comp

Exemple 2:

Soit une tension de $u$ = 5V±5% mesurée au borne d'une résistance et le courant qui traverse cette même résistance vaut $i$=0,5A±5%.

$$\text{incertitude relative} \rightarrow \frac{\Delta x}{x}$$

Combien vaut la puissance au borne de cette résistance?

→ incertitude relative ? $P =$ **?**

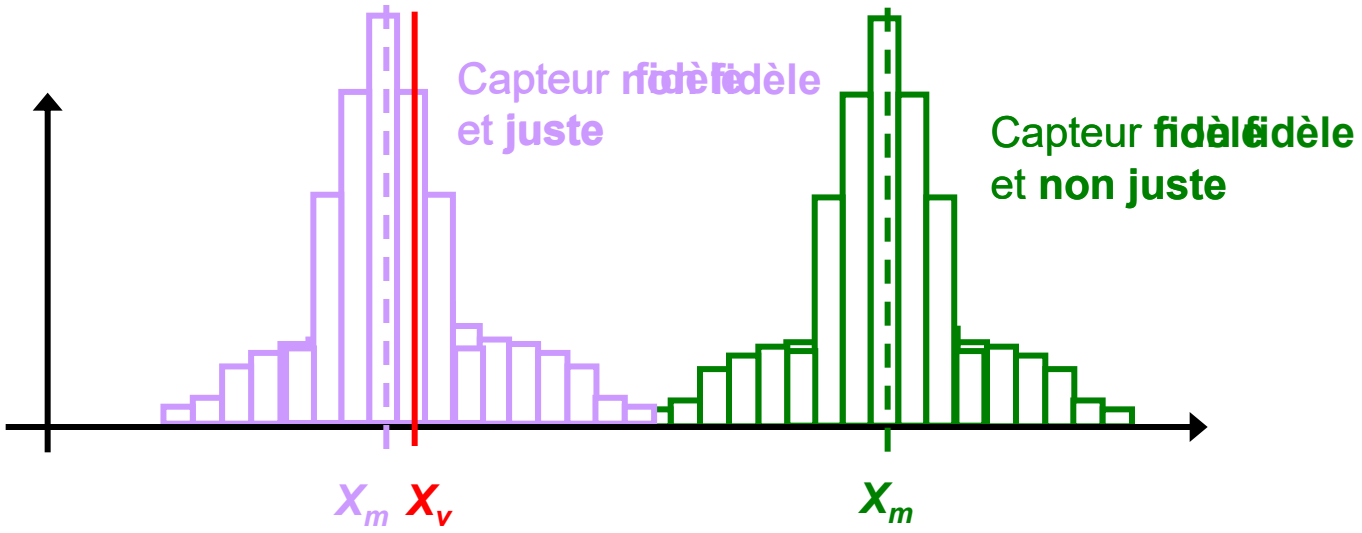
→ incertitude absolue? $\Delta u =$ **?**

$\Delta i =$ **?**

$P =$ **?**

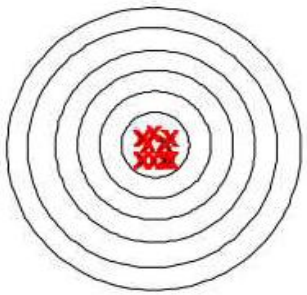
# La mesure

- Précision d'une mesure:
  - ➔ Une mesure est **précise** si elle est **juste** et **fidèle**.
  - ➔ Soit la valeur vraie du mesurande notée Xv. Les valeurs mesurées sont notées Xi et la valeur moyenne des mesures Xi est notée Xm.



# La mesure

- Précision d'une mesure:
  - ➔ Une mesure est **précise** si elle est **juste** et **fidèle**.



Juste et fidèle ➔ précis

# Quizz time

- Quelles sont les deux grandeurs principales d'un circuit électrique?
- Qu'est-ce qu'une résistance?
- Quelle est la relation entre la résistance, la tension et le courant?
- Comment détermine t'on la puissance?
- Qu'est –ce qui fournit la tension ou le courant d'un circuit?
- Comment connaître la valeur d'une résistance?
- Quelles sont les unités de la tension, du courant, de la puissance et d'un résistance?
- Avec quoi mesure-t'on la tension, le courant et la résistance?
- Comment les mesure-t'on?
- Qu'elle est la problématique d'une mesure?
- Comment présenter les résultats de mesure correctement?
- Qu'est ce que l'incertitude absolue?
- Qu'est ce que l'incertitude relative?
- Comment calculer l'incertitude absolue à partir de plusieurs autres incertitudes absolues?

# Retour sur le plan de cours

- Objectifs de cette permière partie du cours
  - ➔ Acquérir les notions de base sur les circuits électriques et leurs terminologies.
  - ➔ Comprendre ce qu'est une mesure et sa problématique.
  - ➔ Apprendre le fonctionnement des appareils de mesure du laboratoire : Voltmètre, ampèremètre, Ohmmètre, multimètre et oscilloscope.
  - ➔ Apprendre le fonctionnement des sources d'alimentation électrique et des générateurs de signaux.

- Plan de cours

Merci.